

Bauweisen zur Umsetzung hybrider Designansätze

DGM-Fachausschuss Hybride Werkstoffe und Strukturen

Frank Kocian

DLR Stuttgart Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung



Inhalt

Designansätze:

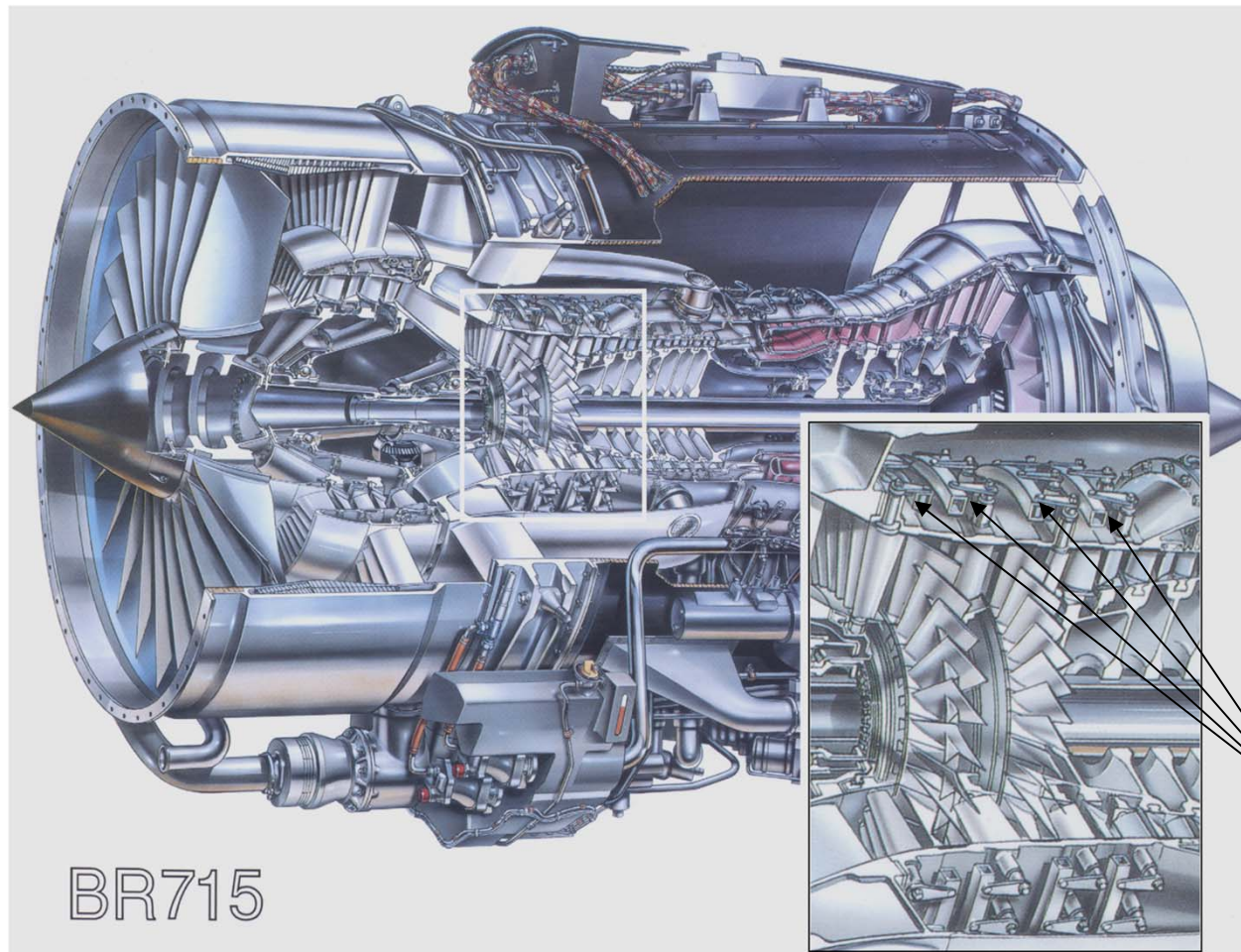
- Steuerung des Wärmeausdehnungsverhaltens von Strukturen durch Kombination unterschiedlicher Materialien
- Reduktion von Strukturgewicht durch die partielle Integration von FV-Werkstoffen in Verdichterbeschaufelungen
- Nutzung von faserverstärktem Titan zur Leistungssteigerung von Verdichterrotoren – Funktionentrennung zur verbesserten Ausnutzung von Werkstoffeigenschaften

Bauweisen für:

- Verstellringe eines Hochdruckverdichters
- Hybride Verdichterschaufel
- Integraler Rotor mit Potential für Verstärkungen und Kombination unterschiedlicher Materialien



Hybrider Verstellring im Hochdruckverdichter (CHUR)

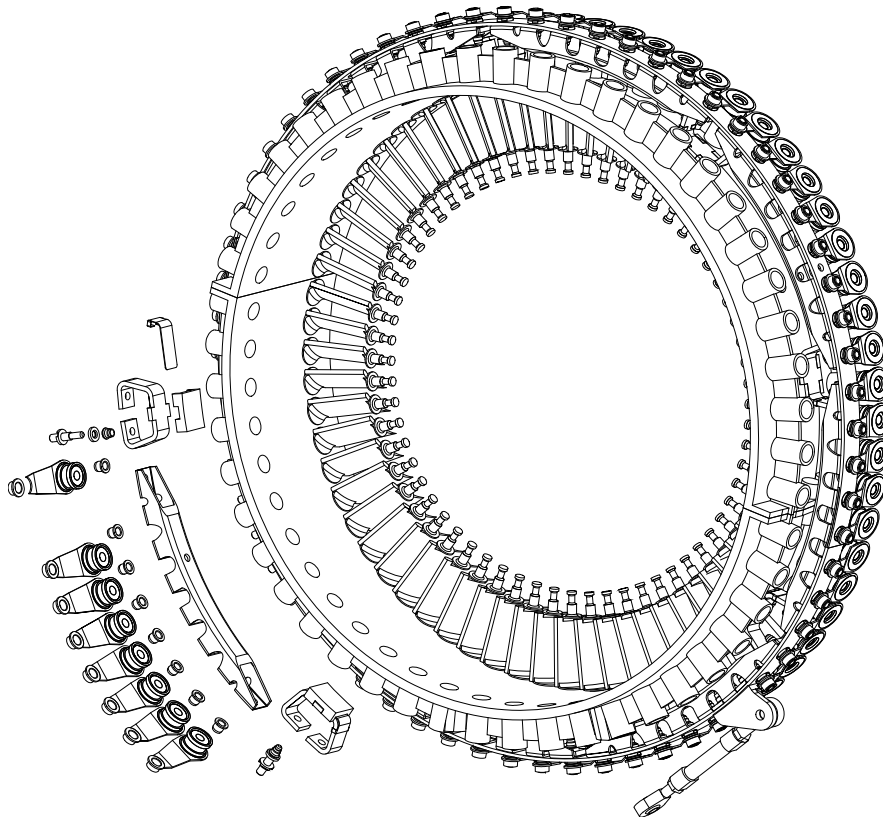


BR715

Titan Verstellringe



Zielsetzung des hybriden Verstellringes (CHUR)

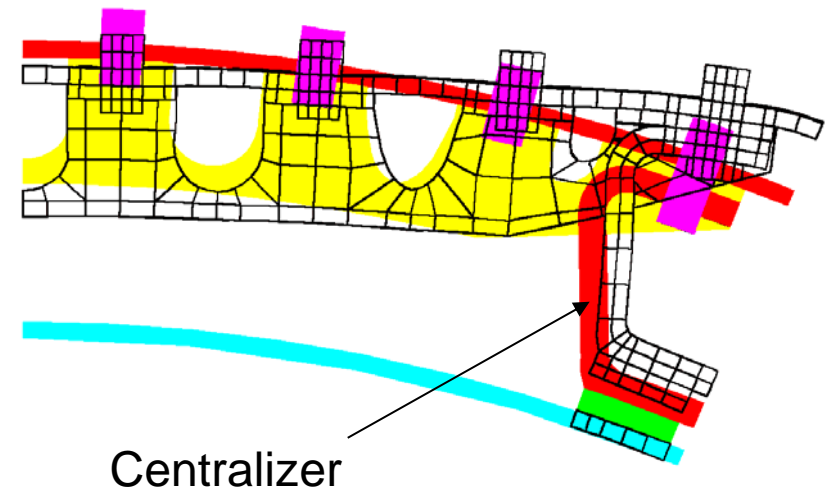


- ▶ Verbesserte Funktionalität des Verstellrings durch optimale Thermaldehnungskompatibilität
- ▶ Einsatz von Hochleistungswerkstoffen zur Verringerung des Strukturgewichts und der Verstellkräfte
- ▶ Geringe Herstellungskosten durch einfach herzustellende Strukturelemente
- ▶ Verbesserte Ringmontage durch enge Fertigungstoleranzen und überarbeitete Montageprozeduren

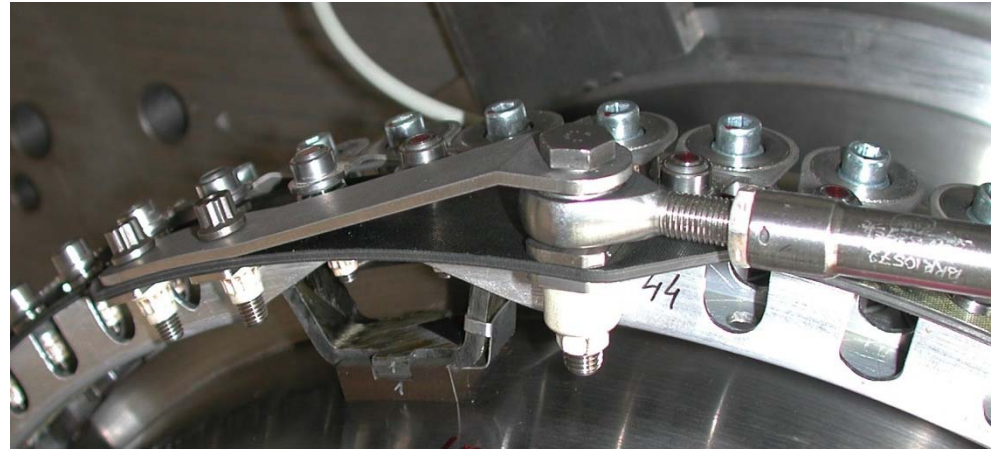
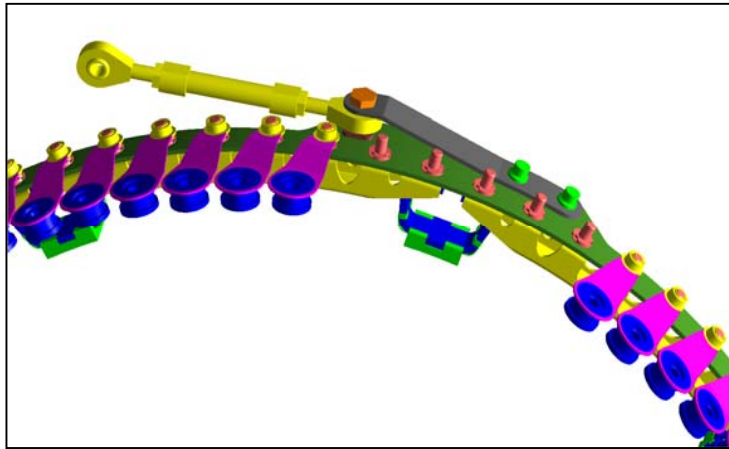


Hybrider Verstellring - Funktionsprinzip

- Hybridkonzept ermöglicht die Nutzung des mechanischen FVW Potenzials
- Werkstoffkombination nutzt Bi-Metall Effekt und kompensiert damit den geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des CFK's
- CFK-Band wird auf Umfangssteifigkeit und Lochleibung ausgelegt in Abstimmung mit der gewählten Fertigungstechnik (Wickeltechnik)
[0° , -45,+45, 0° ,0°]_s – Lagenaufbau bedeutet Kompromiss zwischen Fertigungstechnik, Steifigkeit und Lochleibungsversagen
- Stützelement (Centralizer) wurde aus +/- 30° Wickellaminat aufgebaut, um negatives Strukturausdehnungsverhalten zu generieren



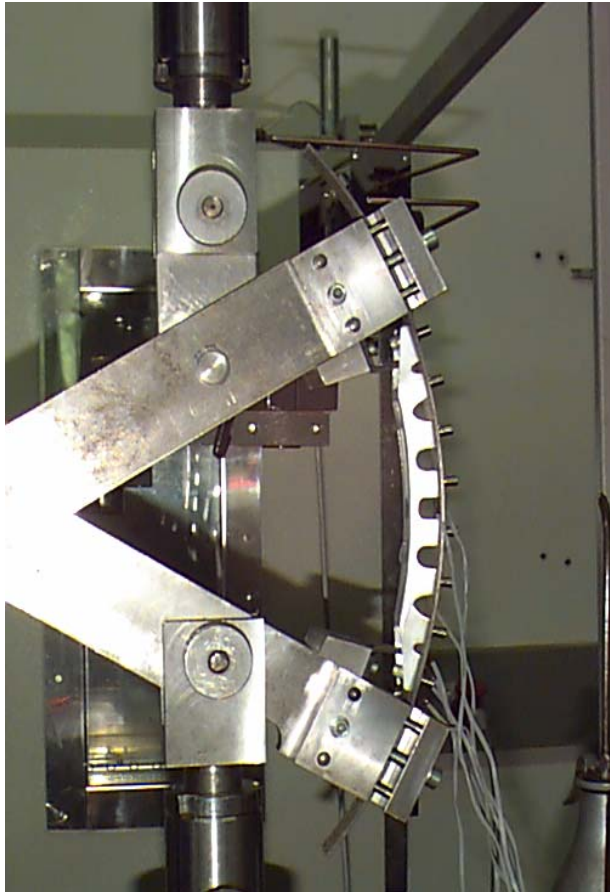
Materialgerechte Gestaltung der Hybridstruktur



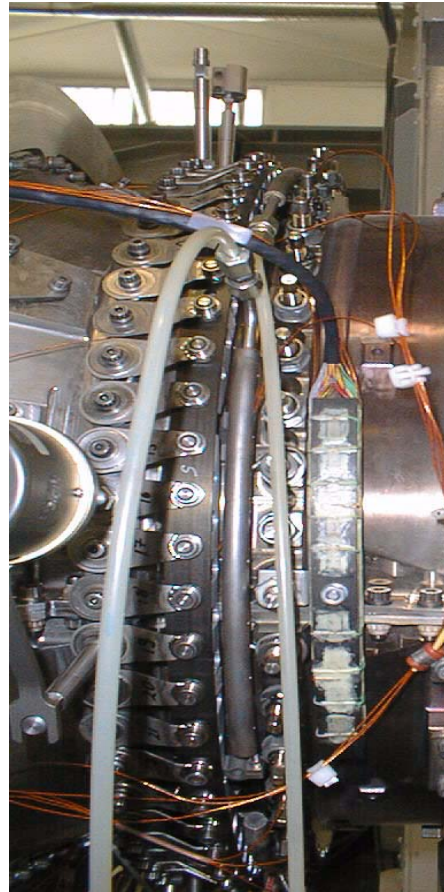
- ▶ Tangentiale Krafteinleitung in den Ring erhöht die Steifigkeit und somit die Verstellgenauigkeit
- ▶ Einfache Strukturelemente mit Mehrfachfunktion
- ▶ Optimierte Kombination von Hochleistungswerkstoffen
- ▶ Unbelastetes Interface zwischen dem Materialien



Verifikation des hybriden Verstellringes



Komponententest

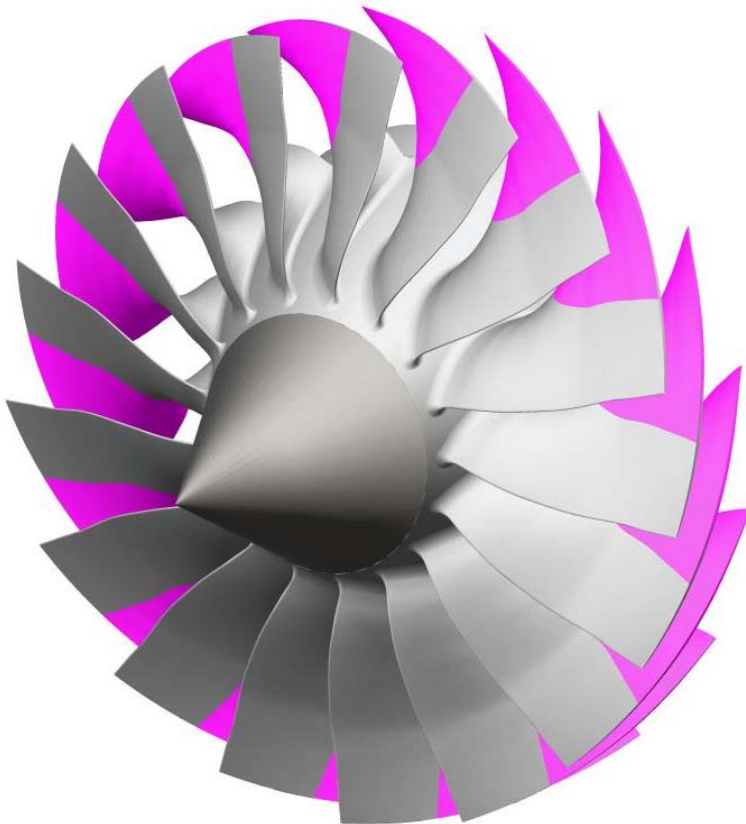


Rigtest

- ▶ Komponententests und Materialtests an den CFK-Teilen im DLR
- ▶ Montagetests auf einem Verdichtergehäuse durch RR Monteure in Dahlewitz
- ▶ Rigtest unter Verstell- und Temperaturlast bei RR in Oberursel
- ▶ Erfolgreiche Tests in einem BR715 Kerntriebwerk mit CHURs auf Stufe 1 und 3 am ILA Stuttgart



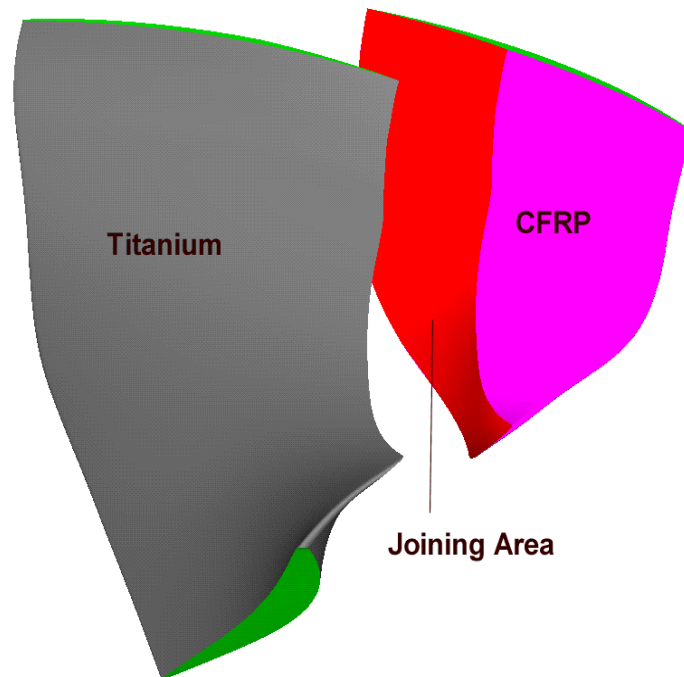
Hybrides Niederdruckverdichterblatt



- ▶ Reduktion von Strukturgewicht durch Einsatz von Hochleistungsverbundwerkstoffen
- ▶ Reduzierte Blattenergie für den Fall eines Blattverlustes
- ▶ Verbesserte strukturelle Dämpfung
- ▶ Weiteres Einsparpotenzial im Bereich Containment, Rotorwelle und Lagerung



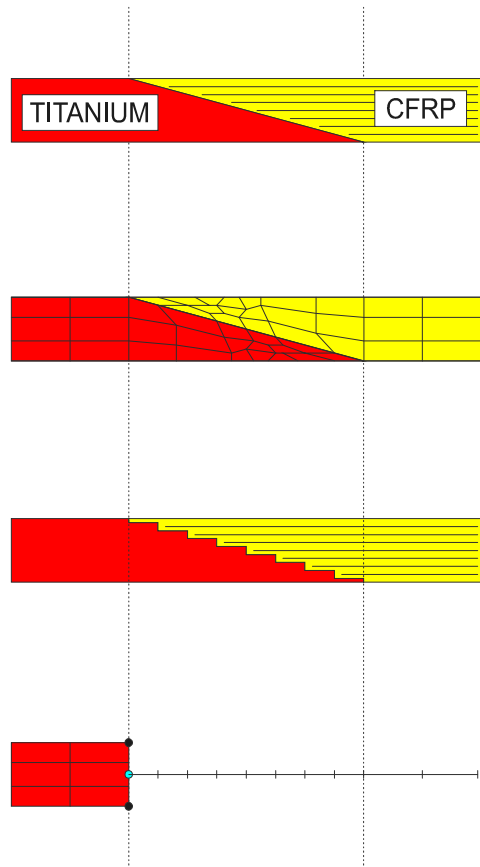
Hybridkonzept für ein Verdichterblatt



- ▶ Titanteil übernimmt die Krafteinleitung in die Rotorscheibe
- ▶ Beständigkeit gegen Erosion und FOD durch Metallvorderkante
- ▶ Thermoplastisches Matrixmaterial (PEEK) zur Erzielung guter Schlagzähigkeit und Klebefestigkeit



Auslegung und Berechnung



Kombination von isotropem mit geschichtetem anisotropen Material

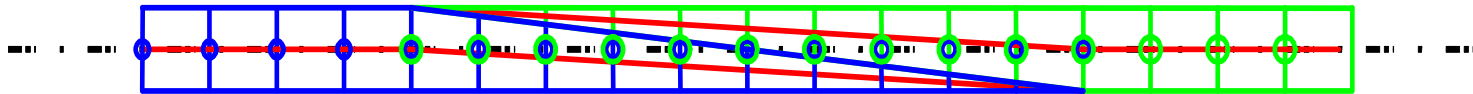
Volumenelementierung führt zu stark verzerrten Elementen

Schalenelemente erlauben kontinuierlichen Materialwechsel

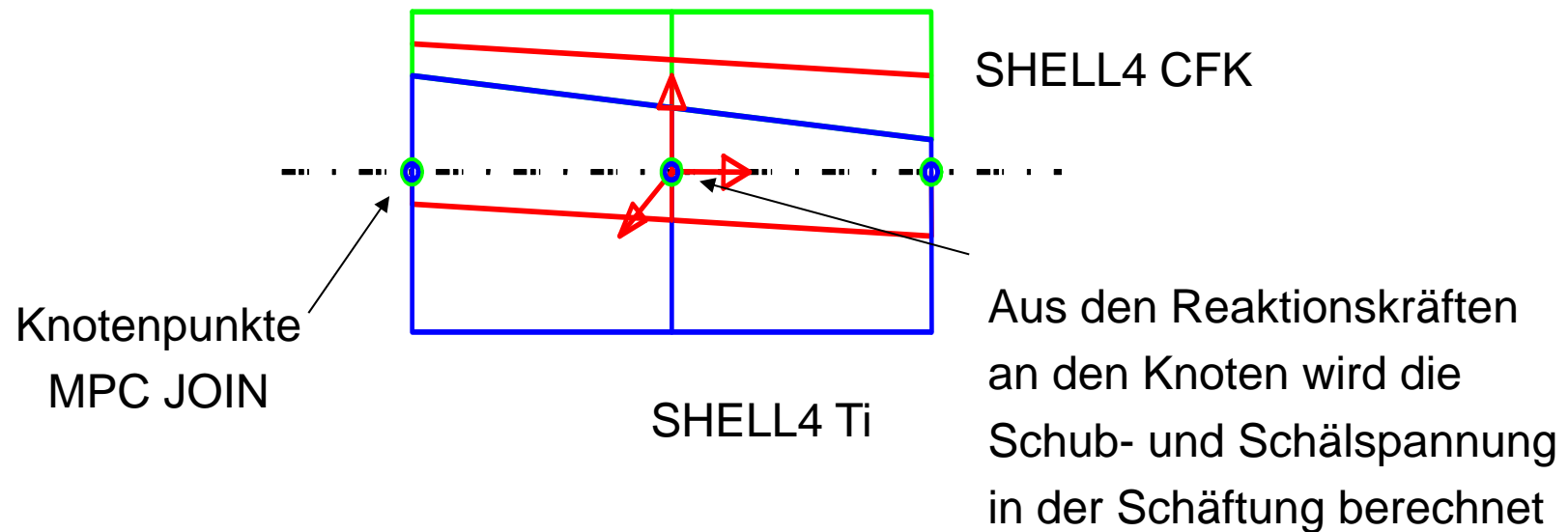
Anbindung der Schale an die Volumenelementierung (VST)



Auslegung und Berechnung

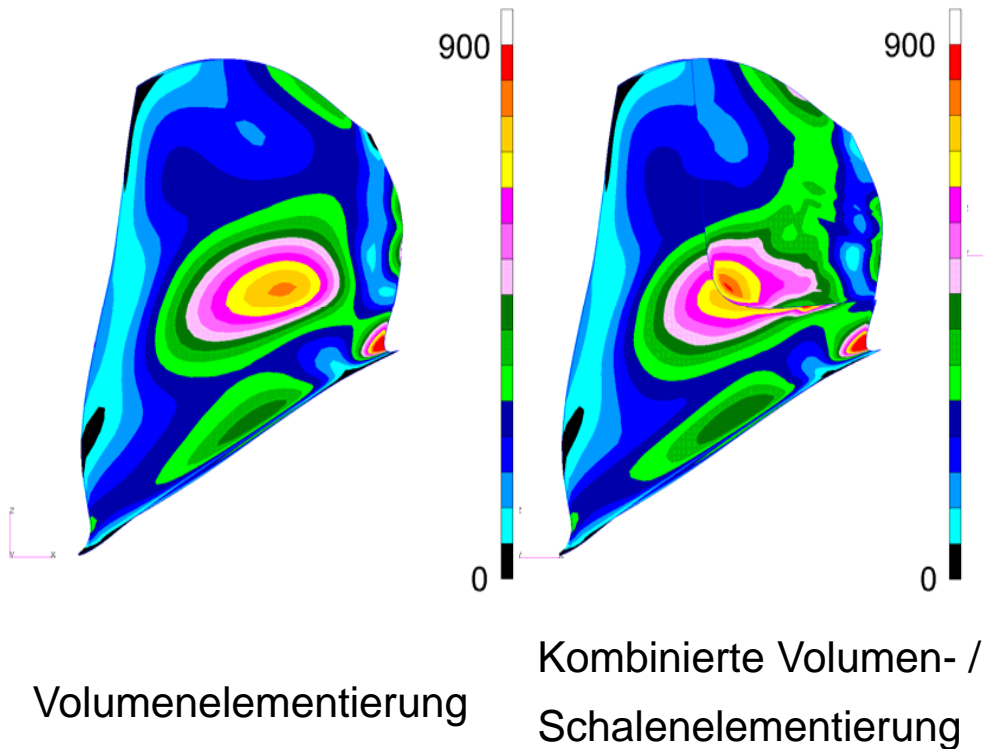


Knoten liegen in einer Ebene, Elemente sind verschoben



Auslegung und Berechnung

Unterschiedliche FE-Modelle des massiven Titanblattes zeigen gute Übereinstimmung in Bezug auf das Spannungsniveau in MPa nach v. Mises

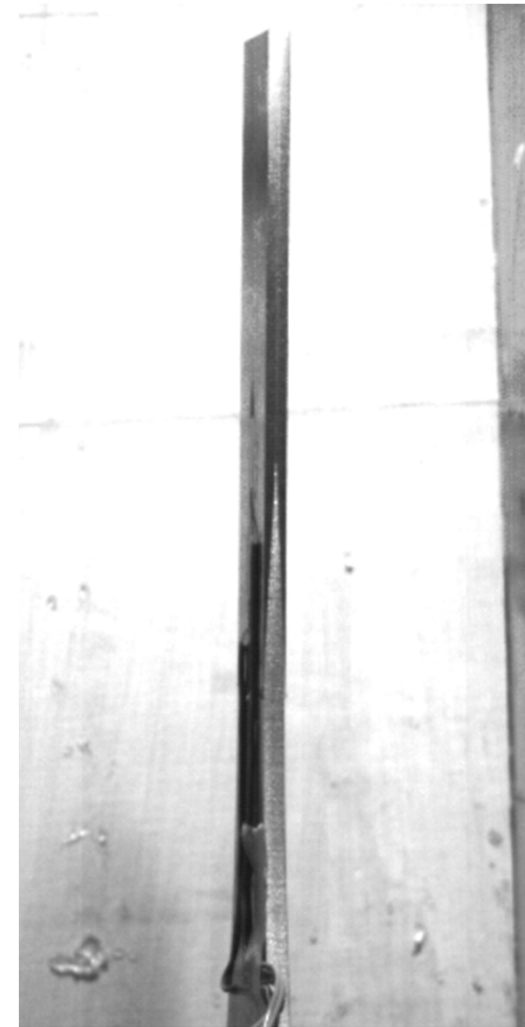


FE-Modell des hybriden Fanblattes weist eine Spannungsreduktion im Titanbereich auf und zeigt eine Materialausnutzung im CFK mit ausreichender Reserve

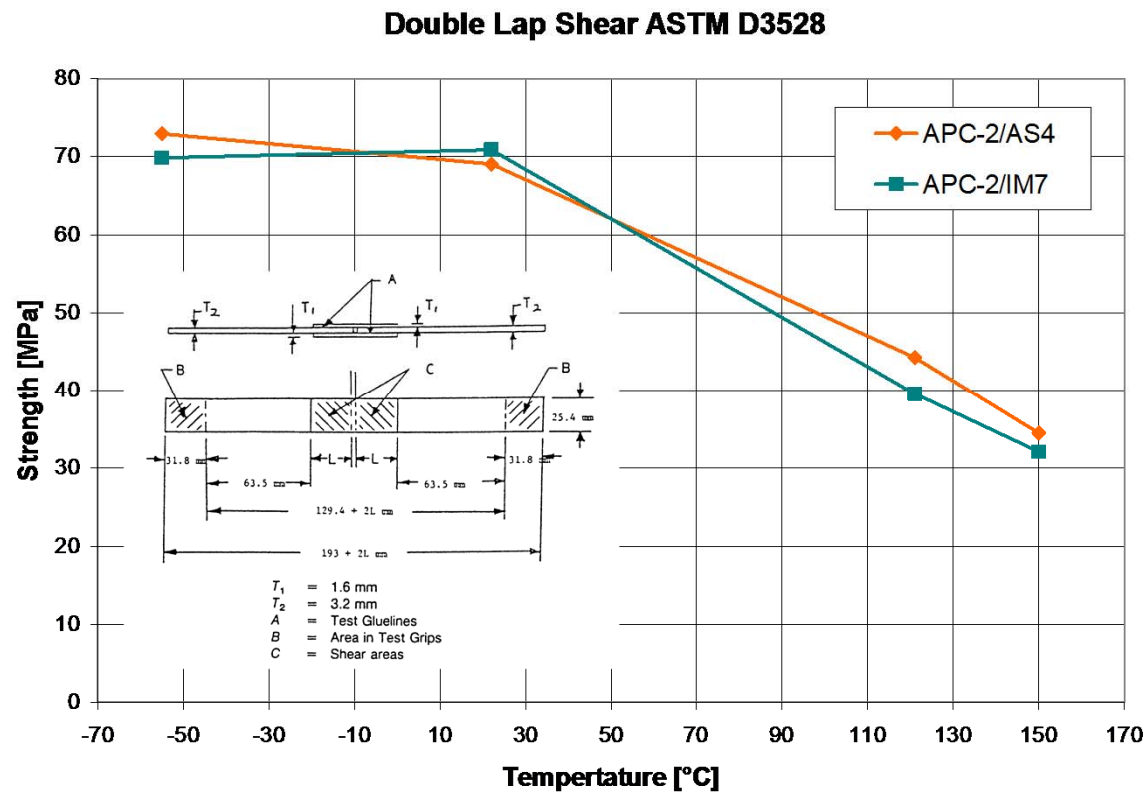


Beschusstest einer Hybridprobe

- ▶ Getestete Geschwindigkeit im Bereich von 104 bis 151 m/s
- ▶ Projektilmassen im Bereich von 25 bis 33 gramm
- ▶ Impact Energien im Bereich von 139 J bis 306 J
- ▶ Bis zu einer Dehnung von 0.9% konnte kein Fehler in der hybriden Verbindung festgestellt werden



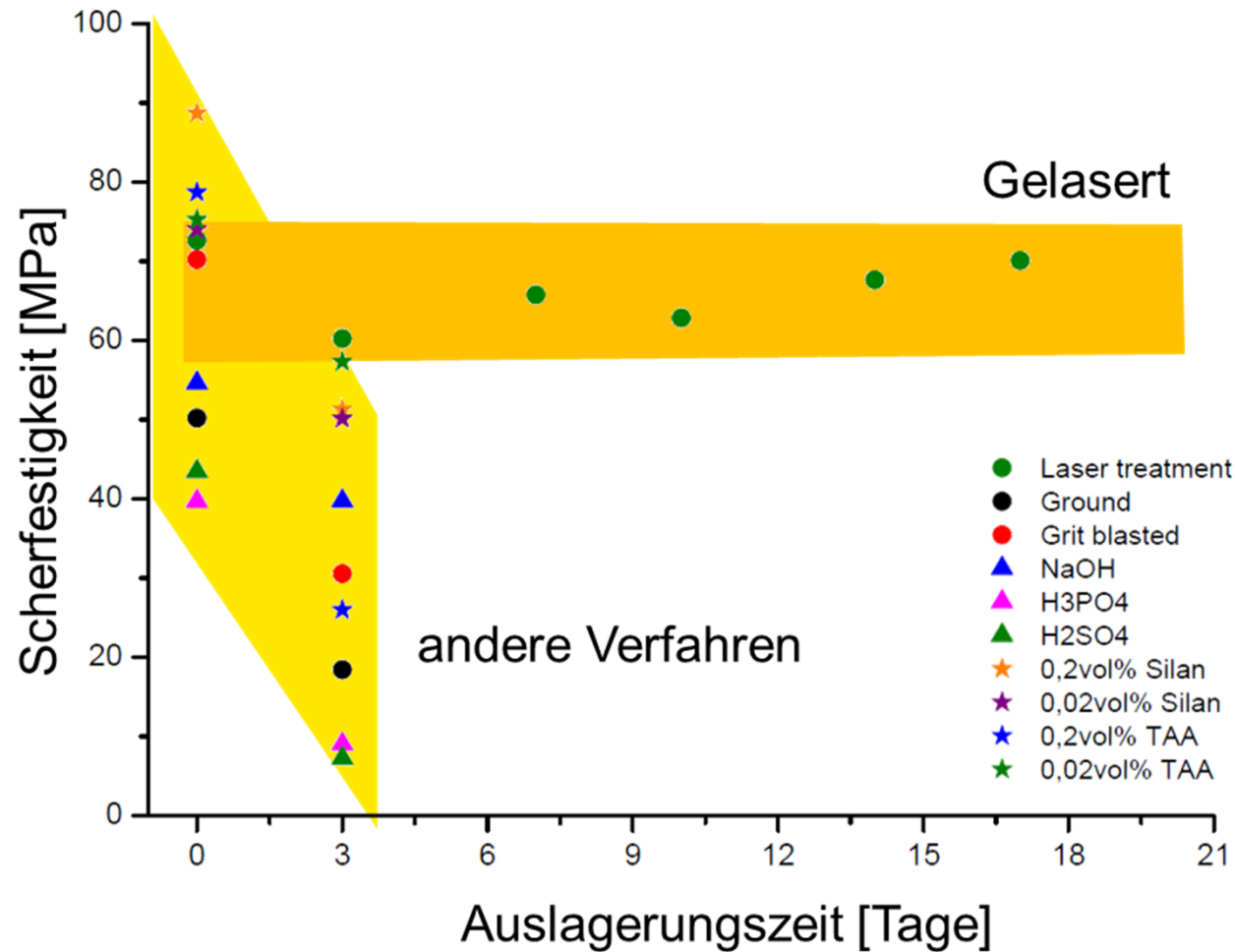
Ausgangspunkt: Hohe Materialfestigkeiten bei der Fügung von CF-PEEK und Titan



Problem: Alterungsbeständigkeit!



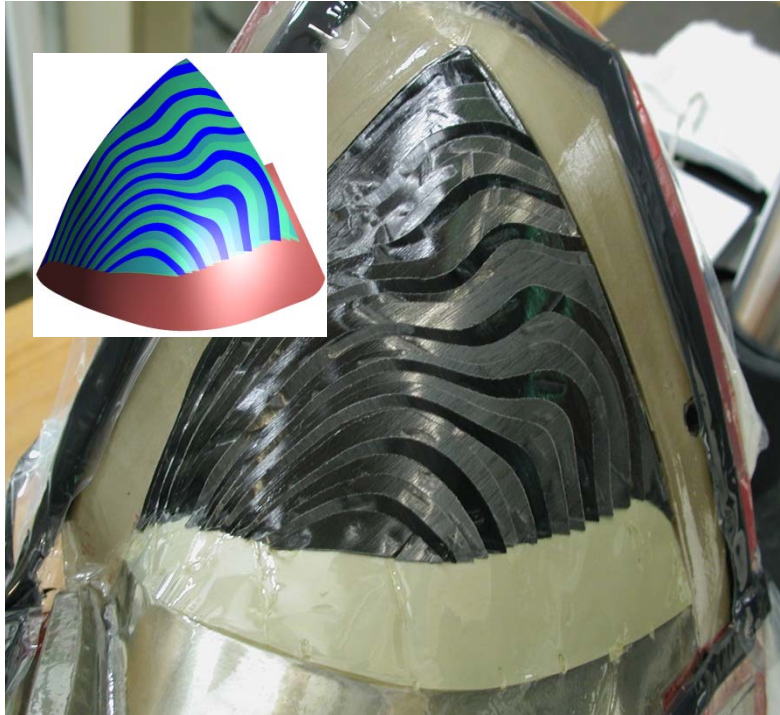
Haftfestigkeit nach Langzeitauslagerung



Quelle: Institut für Werkstoff Forschung (DLR)



Fertigung

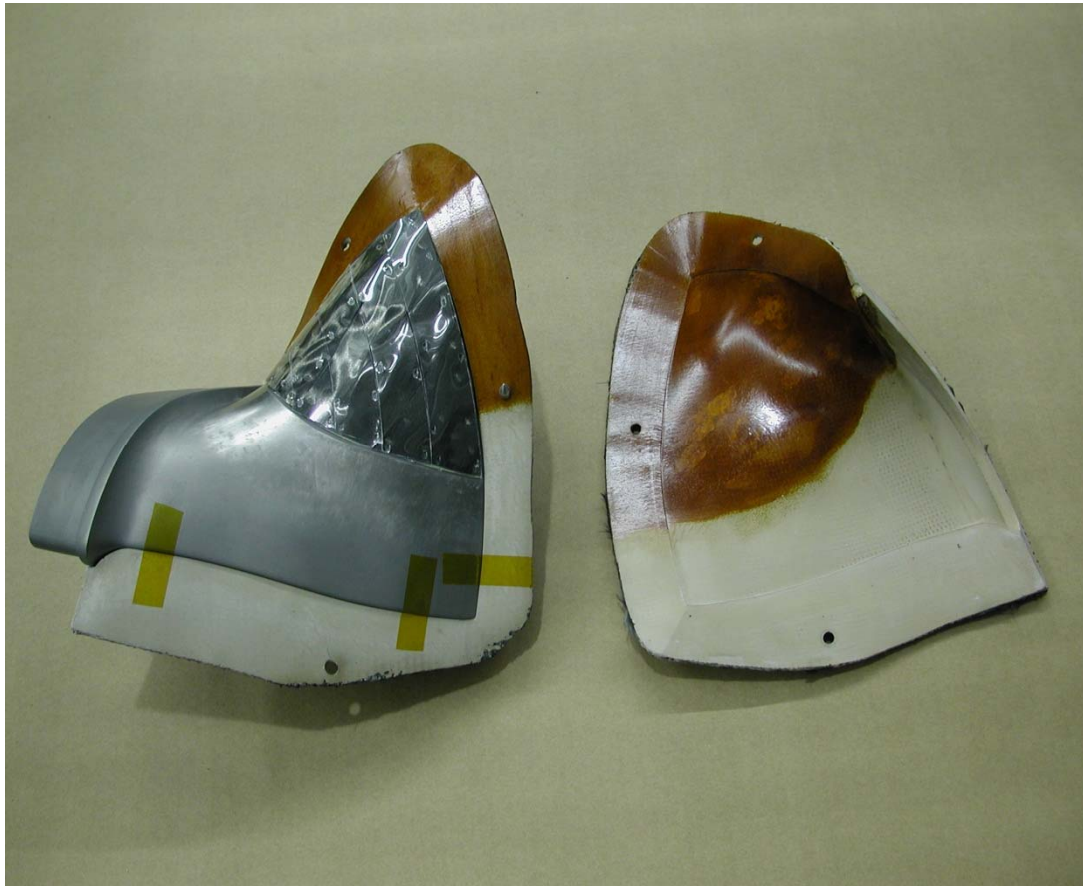


Simulation des Lagenaufbaus als Basis für die Drapierung und den maschinellen Zuschnitt der UD-Prepreglagen und reales Stacking in der Keramikform

- ▶ Vakuumkonsolidierung der CFK-Prepreglagen und Fügung erfolgt in einem Arbeitsgang
- ▶ Kostengünstige armierte und beschichtete Keramikformen
- ▶ Drapierung der Einzellagen im CAD und Zuschnitt mittels einer Wasserstrahlschneidanlage
- ▶ Positionierung der Einzellagen in der Form mittels eines optischen Projektionsverfahrens



Fertigung



Keramikform, Titanteil und
CFK-Stacking vor der
Konsolidierung im Vakuum



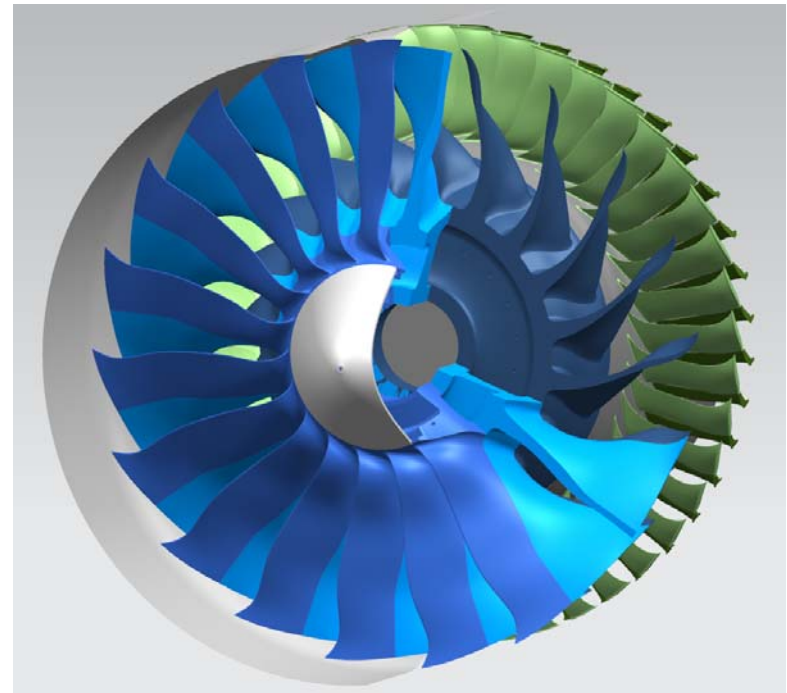
Potenzial

Version A10	Blattmasse [kg]	Rotations- energie [kJ]
Titanblatt	1,42	91,8
Hybridblatt	1,25	75,9
Einspar- potenzial	12,1%	17,4%

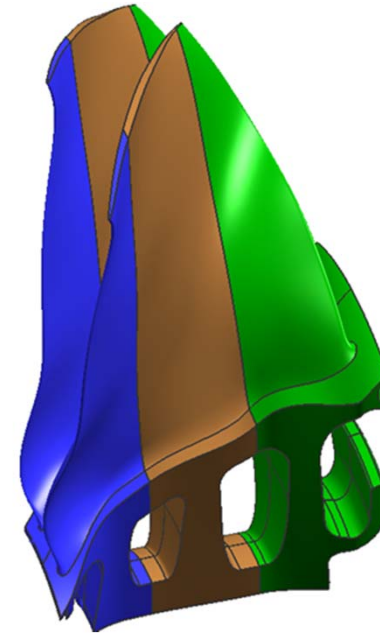
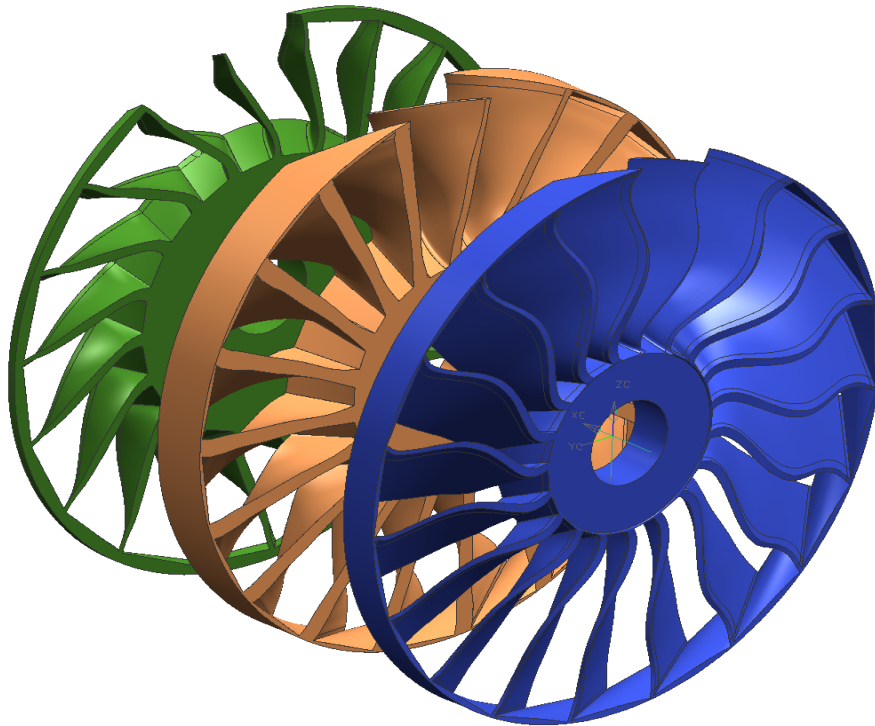


Ausgangslage für eine hybride Rotorstruktur

- Umsetzung extremer aerodynamischer Anforderungen an einen Verdichter in den Bereichen Druckverhältnis, Wirkungsgrad und Pumpgrenzabstand für verschiedene Betriebszustände
- Bereitstellung und Umsetzung einer adäquaten Leichtbauweise für Rotoren ohne Restriktionen für die Aerodynamik, mit Potenzial für einen Technologiesprung
- Entwicklung eines geeigneten, qualitätsgesicherten Fertigungsprozesses für die Herstellung des Rotors
- Zuverlässige mechanische und aeroelastische Auslegung des Verdichters unter Berücksichtigung der neuen Bauweise

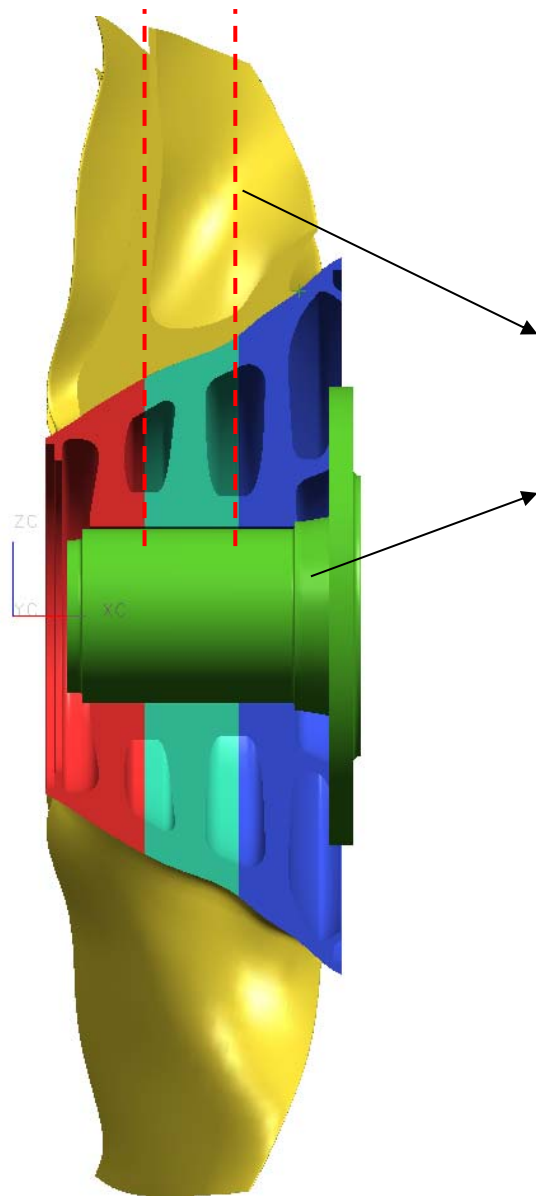


Rotorkonzept



Die Bauweise des Rotors neuer
Technologie besteht in der
Fügung einzelner, vorgefertigter
Rotorscheiben mittels Verlöten
der Einzelsegmente

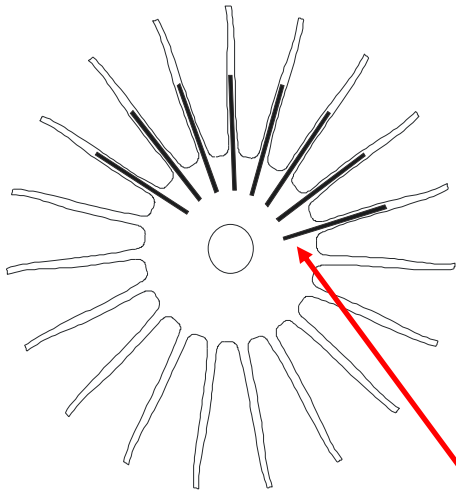
Rotorkonzept



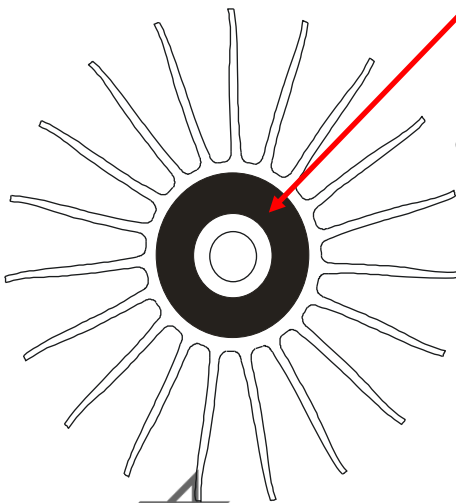
- Rotor mit zwei Lötebenen, Dreistegscheibe und Hohlräumen
- Rotorlagerung zur Sicherheit für den Testbetrieb auf verlängerter Welle
- Auslegung erfolgt mit Blick auf genügend Tragfähigkeit voneinander getrennter einzelner Scheibensegmente (Schadensfall)
- Konzept dient zur Verifikation der Basistechnologie



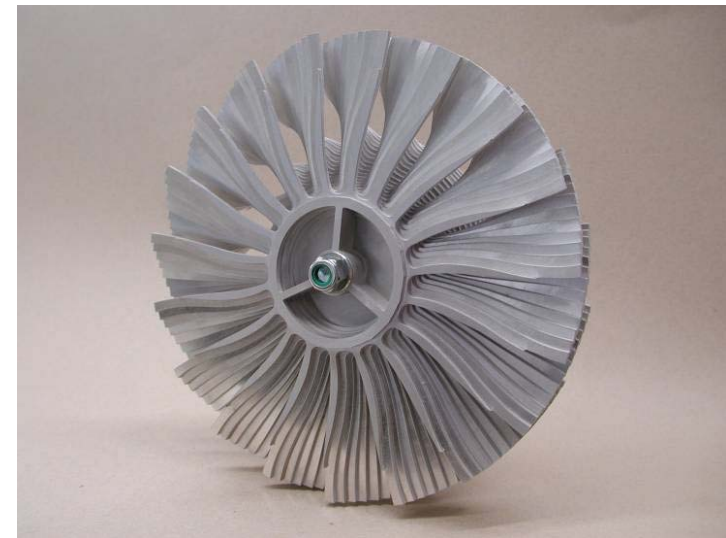
AeroLight – Neue Leichtbauweise für Verdichterrotoren



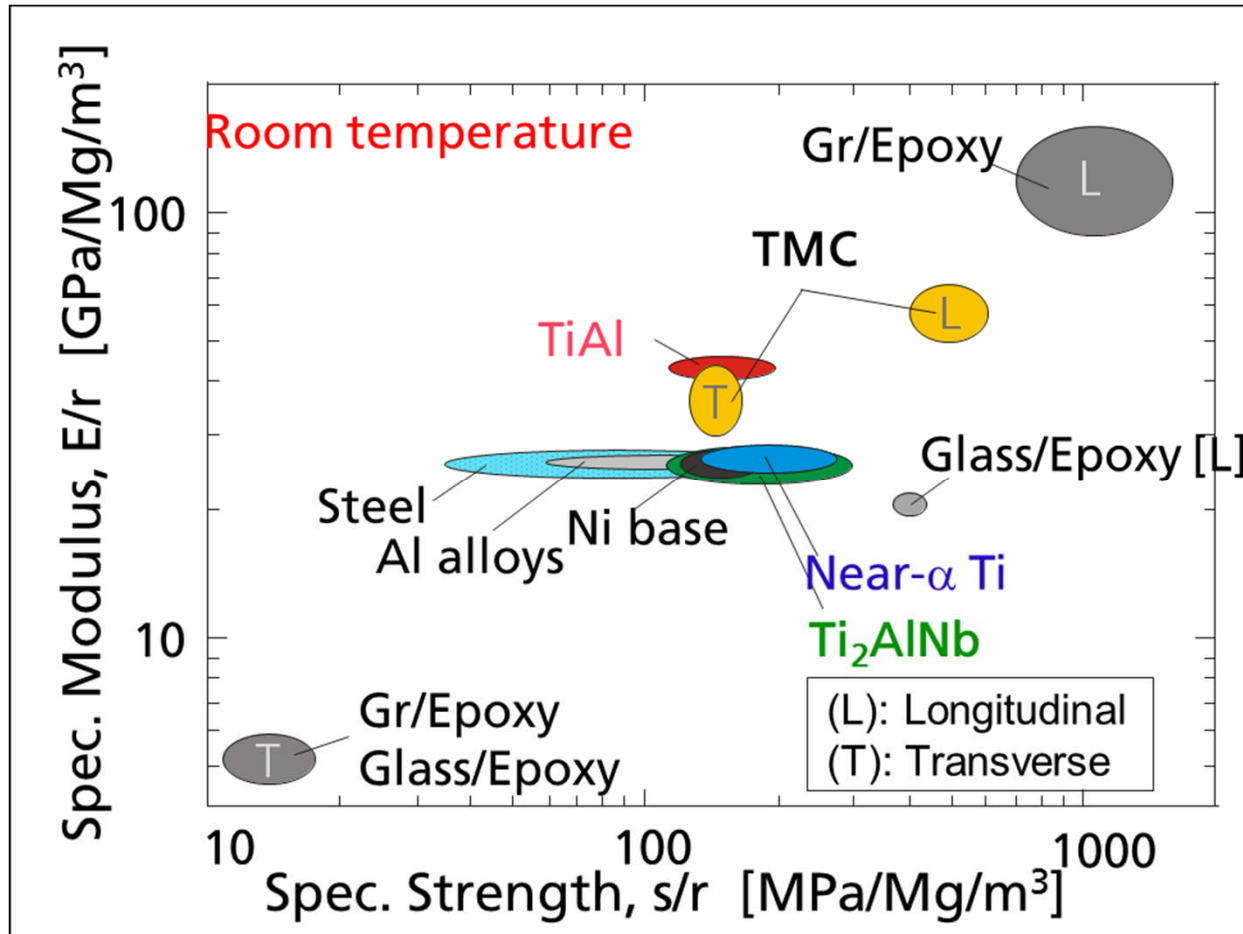
- Material ist durchgängig in Hauptbelastungsrichtung
- Nutzung von hybriden Bauweisen
- Untersuchungen von Fügetechniken als Schlüsseltechnologie



- Effizienter Einsatz von Verstärkungselementen
- Nutzung bereits erarbeiteter Technologien



TMCs verbinden hohe spezifische Steifigkeiten und Festigkeiten

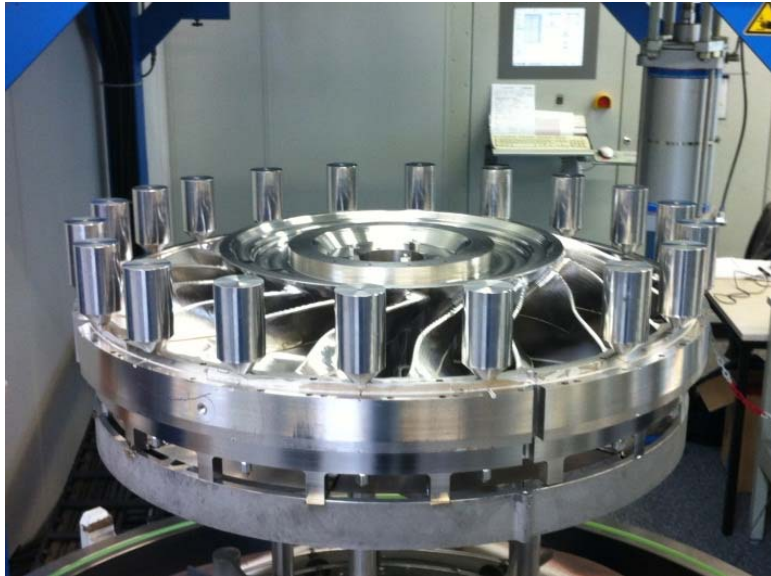


Höhere Festigkeiten und Steifigkeiten als monolithische Metalle verbunden mit einer geringeren Anisotropie im Vergleich zu faserverstärkten Kunststoffen

Quelle: Institut für Werkstoff Forschung (DLR)



Status



- Prozesskette zur Herstellung und Qualitätssicherung ist vorhanden
- Herstellung des Rotors für Testzwecke befindet sich noch in der Umsetzung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Kontakt

Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung

Pfaffenwaldring 38 – 40

70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. Frank Kocian

+49 (0)711 / 6862 - 664

